

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004年10月14日 (14.10.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/088217 A1

(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: F25B 9/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/004253

(22) 国際出願日: 2004年3月26日 (26.03.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2003-091376 2003年3月28日 (28.03.2003) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) [JP/JP]; 〒1820012 東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1 Tokyo (JP). 学校法人日本大学 (NIHON UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒1028275 東京都千代田区九段南四丁目8番24号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

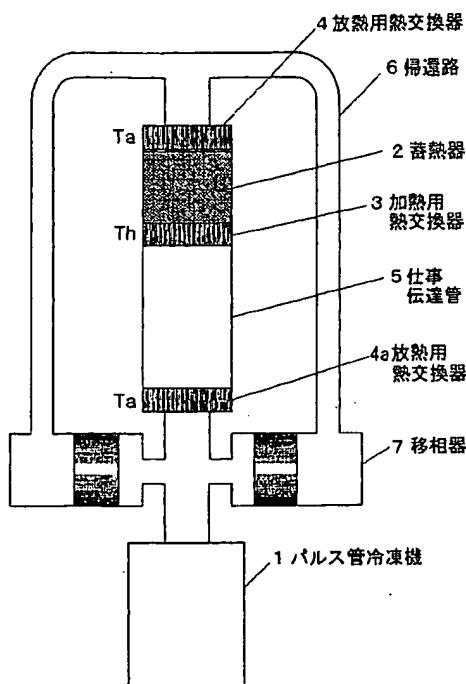
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松原 洋一 (MATSUBARA, Yoichi) [JP/JP]; 〒1028275 東京都千代田区九段南四丁目8番24号 学校法人日本大学内 Tokyo (JP). 杉田 寛之 (SUGITA, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現2丁目1番1号 独立行政法人宇宙航空研究開発機構内 Ibaraki (JP). 久志野 彰寛 (KUSHINO, Akihiro) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現2丁目1番1号 独立行政法人宇宙航空研究開発機構内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 役 昌明, 外(YEN, Masaaki et al.); 〒1690073 東京都新宿区百人町2丁目2番41-305号 エンテック特許事務所 Tokyo (JP).

/継葉有/

(54) Title: PULSE TUBE REFRIGERATOR

(54) 発明の名称: パルス管冷凍機



4, 4a...HEAT EXCHANGER FOR HEAT RADIATION  
6...RETURN PATH  
2...HEAT STORAGE UNIT  
3...HEAT EXCHANGER FOR HEATING  
5...WORK TRANSMISSION TUBE  
7...PHASE SHIFTER  
1...PULSE TUBE REFRIGERATOR

(57) Abstract: A pulse tube refrigerator that is small in size and free from vibration and electric noise. A pulse tube refrigerator (1) has a pulse tube, a cool storage unit connected to the low-temperature side of the pulse tube, a vibration generator connected to the high-temperature side of the cool storage unit, and a reservoir with an orifice, connected to the high-temperature side of the pulse tube. The vibration generator is a thermally driven pressure wave generator having thermal drive tubes (heat exchangers (4-4a) for heat radiation), a phase shifter (7), and a return path (6). Sufficiently heating a heat exchanger (3) for heating causes self-exciting vibration to be generated in a work transmission tube (5), and work is returned to the thermal drive tubes through the phase shifter (7) and the return path (6) arranged on the work output side of the work transmission tube (5). The work is amplified by the thermal drive tubes, and is then outputted from the work transmission tube (5) and fed to the pulse tube refrigerator (1). A vibration generator for a pulse tube refrigerator that is small in size and free from vibration and noise can be realized.

(57) 要約: 小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機を実現することを目的として、パルス管冷凍機1は、パルス管と、パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、パルス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えている。振動発生装置は、熱駆動管 (放熱用熱交換器4~放熱用熱交換器4a) と、移相器7と、帰還路6とを備えた熱駆動圧力波発生装置である。加熱用熱交換器3を十分に加熱することにより、仕事伝達管5内に自励振動が生じ、仕事伝達管5の仕事の出力側に設けられた移相器7と帰還路6を介して、熱駆動管に戻される。仕事は熱駆動管で増幅された後、仕事伝達管5から出力され、パルス管冷凍機1に供給される。小型で振動とノイズのないパルス管冷凍機用の振動発生装置を実現できる。

WO 2004/088217 A1



(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ヨーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCT gazetteの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

## パルス管冷凍機

## 5 技術分野

本発明は、パルス管冷凍機に関し、特に、熱により圧力振動を発生する圧力振動発生装置を備えたパルス管冷凍機に関する。

## 背景技術

10 パルス管冷凍機は、パルス管と、パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、蓄冷器の高温側に接続された圧縮機とを備えた構成の冷凍機である。パルス管冷凍機には、低温の可動部がない。モータ駆動の圧縮機を用いるパルス管冷凍機では、圧縮機と蓄冷器の間に設けられた高圧バルブと低圧バルブを交互に開閉することにより、パルス管内に圧力振動を生じさせている。Gifford による基  
15 本型パルス管冷凍機では、surface heat-pumping effect を利用している。オリフィス型パルス管冷凍機では、パルス管の高温側には、オリフィスを介してバッファ（リザーバタンク）が接続されている。パルス管内の圧力振動とパルス管内でのガス柱（パルス管内に形成される仮想のガスピストン）の変位との位相差に基づいて、冷却作用が生じる。ダブルインレット型では、オリフィスとパル  
20 ス管の間の流路と、蓄冷器と圧縮機の間の流路を、別のオリフィスを有するバイパス流路を介して接続している。

スターリングエンジンなどの熱機関について、第9図に、蓄熱器を使って熱エネルギーをガスの圧力エネルギーに変換する装置におけるエネルギー流のパターンを示す。蓄熱器の両端の境界条件を変えて、エネルギー流がどのようになるかを示したものである。これらのパターンのうち、(b) と (c) は、蓄熱器の低温側の端で入力仕事を要求しない。他方、低温側で大きな掃引体積を必要とする。(c) がより現実的な条件であり、(b) は、理想的な条件である。

第10図を参照しながら、従来のオリフィス型パルス管冷凍機について説明する。パルス管冷凍機は、パルス管と、パルス管の低温側に接続された蓄冷器

と、パルス管の高温端に接続されたバッファタンクとを備える。蓄冷器の高温側（室温側）に、圧縮機が接続される。パルス管と蓄冷器の間の部分に、極低温を発生するコールドステーションが形成されている。蓄冷器は、銅線をメッシュ状に編んだ網体を円板状に打ち抜き、この円板状の網体を複数枚重ねるようにして、金属製の筒体内に収容したものである。必要に応じて、鉛等の球体を追加充填することもある。

パルス管内に、点線で示されるような‘ガスピストン’を想定することにより、その基本的動作原理を容易に説明することができる。ガスピストンとは、パルス管内に常に存在しているガスのことで、あたかも伸縮する固体ピストンのようによく作用することから、この名前が付けられた。圧力振動によってオリフィスを通過するガスのもたらすエネルギー流変化に注目する。パルス管内が高圧のとき、圧力降下を伴って、バッファに等エンタルピー的に流入するから、エントロピーが増加する。パルス管内が低圧のときも、圧力降下を伴ってバッファから等エンタルピー的に流出するから、エントロピーも増加する。

すなわち、振動が続く限りエントロピーが増大し続けるので、この部分で連続した仕事の吸収（あるいは消費）が行われることになる。ただし、オリフィス内でのエンタルピー流は、サイクル平均ではゼロである。その結果、パルス管内を一定の仕事が通過していることになり、ガスピストンがあたかも膨張機のように作用して、パルス管と蓄冷器との接合部の温度が低下し、冷凍機として機能する。したがって、冷凍発生のメカニズムは、基本型パルス管冷凍機とは異なり、むしろ GM サイクルやスターリングサイクルの冷凍発生機構に準ずるものである。

オリフィス型パルス管冷凍機では、原理的に臨界温度勾配の制限を受けないので、基本型パルス管冷凍機では到達し得なかった低温度に達成できる。しかし、効率に関しては問題がある。膨張仕事が全て熱に変換されるため、仕事として回収することができないので、大容量の冷凍システムには適さない。スターリングサイクルや GM サイクルの場合に比較して、蓄冷器を通過するエンタルピー流が大きく、冷凍効率が悪くて大きい蓄冷器を必要とする。

理想的な蓄冷器とは、無限大の比熱と無限大の熱伝達表面積とを限られた空

間内に有しており、しかも流れの軸方向に無限小、径方向に無限大の熱伝導率を持っているような構造体をいう。例えば、蓄冷器の両端から流入するガス温度がそれぞれ 300K、30K で、蓄冷器が一定の温度勾配を保っていれば、300K で流入したガスは 30K で流出し、30K で流入したガスは 300K で流出する。つまり流れ方向の任意の位置でのガスは温度振動していないことになる。

一方、実際の蓄冷器で最もポピュラーなのは、円形に打ち抜いた目の細かい金網を薄肉ステンレス管に多数枚積層したものである。当然、理想状態から遠く離れているので、ガスは温度振動し、その結果としてエンタルピーの流れが生じ、実質冷凍量を低減させる。エンタルピーの流れとは、流体の低圧比熱と温度と流量の積を 1 サイクル周積分した値で、 $\langle H \rangle$ で示す。与えられた蓄冷器の効率を向上させるためには、つまり $\langle H \rangle$ を減少させるためには、流量を減少させるほか無い。しかし、流量の減少は仕事量の減少にもつながる。重要なのは、いかにして単位流量あたりの仕事量を増大させるかである。

基本型パルス管では、理想的な蓄冷器を想定しているので、蓄冷器内のエンタルピーフロー $\langle H \rangle_R$ はゼロになっている。エネルギー流の添え字 R は蓄冷器内、P はパルス管内を表す。第 10 図には、蓄冷器の非効率が、実質冷凍量の減少にどのようにかかわっているかを同時に示してある。まず、パルス管内でのエネルギー流に注目すると、基本型パルス管の場合と異なり、冷凍の元となる右向きの熱流 $\langle Q \rangle_P$ が全く無い。もし、パルス管内壁が完全断熱ならば、熱流は無く、 $\langle Q \rangle_P = 0$  であり、したがって、 $\langle W \rangle_P = \langle H \rangle_P$  であるが、実際には、むしろわずかに左向きの $\langle Q \rangle_P$ が存在している。

それにもかかわらず、基本型パルス管より更によく温度が下がる理由は、オリフィスによって吸収される仕事量が、パルス管壁を介しての直接的熱輸送量より著しく大きいからである。つまり、surface heat-pumping effect は、圧縮比の制限を受けるが、オリフィス型の場合は、低圧縮比でも、オリフィス開度の調整で通過流量を制御し、仕事吸収量を増大させることが可能だからである。オリフィスを通過するエンタルピーフローがゼロで、仕事流が減少するわけだから、エントロピーが増大する。その増大したエントロピーは、熱交換器内で熱として放出される。つまり、仕事が熱に変換されたわけである。

一方、実際の冷凍量は、第10図から明らかなように、パルス管を通過する $\langle H \rangle_p$ から、蓄冷器を通過する $\langle H \rangle_R$ を差し引いたものになる。冷凍機に最低到達温度が存在するのは、入力が一定ならば温度の低下と共に $\langle H \rangle_p$ が減少し、同時に $\langle H \rangle_R$ が増大し、最終的に冷凍量Qは $\langle H \rangle_p - \langle H \rangle_R = 0$ となるからである。

したがって、少しでも最低到達温度を低下させなければ、パルス管を通過する仕事流を一定に保ちつつ流量を減少させ、 $\langle H \rangle_R$ を減少させることが重要となる。

第11図は、特願2002-179141号で提案した圧力振動発生装置である。この圧力振動発生装置では、熱入力部を加熱して、仕事伝達チューブ内に自励振動を生じさせる。共振器を共振させ、熱交換器に仕事を入力すると、この仕事が、熱交換器を介して増幅される。その仕事が、仕事伝達チューブに伝達されて、出力部に出力される。出力される仕事を、入力した仕事よりも大きくできる。出力される仕事の一部を、シリングの駆動用のエネルギーとして用いる。加熱するだけで、圧力振動発生装置を継続的に駆動できる。圧力振動発生装置を格段に小型化できる。

特開平11-182958号公報に開示された「パルス管冷凍機」は、熱駆動型圧縮機の共鳴管の長さを短縮することにより、小型コンパクト化したパルス管冷凍機である。熱駆動型圧縮機の共鳴管内に封入された作動ガスを加熱・冷却することにより、作動ガスに自励振動を発生させる。熱駆動型圧縮機からの作動ガスの圧力振幅を、冷凍機本体のパルス管および蓄冷器に作用させて、水素などの容器内の流体を冷却液化する。共鳴管内に封入される作動ガスに、ヘリウムガスと他の希ガスとの混合ガスを用い、共鳴管長さを短縮する。特に、混合ガスとしてHeとXeの混合ガスを用いる。

しかし、従来のパルス管冷凍機では、モータで駆動する圧縮機を利用する場合、振動が大きくて電気ノイズも発生するという問題がある。スターリングサイクルなどを利用する圧縮機では、共振管のサイズが大きくなるという問題がある。空洞共振器を利用するものでは、振動が大きいという問題がある。特許文献1に開示されたパルス管冷凍機の熱駆動型圧縮機でも、このような問題を解決できない。

本発明は、上記従来の問題を解決して、小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機を実現することを目的とする。

### 発明の開示

5 上記の課題を解決するために、本発明では、パルス管と、パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、パルス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えたパルス管冷凍機の振動発生装置を、蓄熱器と加熱用熱交換器と放熱用熱交換器と仕事伝達管とからなる熱駆動管と、熱駆動管の出力端に一端が接続された移相器と、移相器の他  
10 15 端と熱駆動管の入力端を結ぶ帰還路とを備えた熱駆動圧力波発生装置とする構成とした。このように構成したことにより、小型で振動とノイズのないパルス管冷凍機を実現できる。

すなわち、振動発生装置の共振器や移相器に、固体ディスプレーサを採用し、それを対向型にすることにより、振動の低減と小型化が実現できる。従来の共鳴管型の熱駆動圧力波発生装置では、小さいと共鳴しないので、大型にならざるを得なかった。小型にしようとするとき、動作ガスと管壁との摩擦により、効率が非常に低くなり、実用にならなかった。固体ディスプレーサの共振器や移相器を使うことで、小型でも効率のよい熱駆動圧力波発生装置を実現することができる。同様な理由で、仕事を吸収する側に、固体ディスプレーサの共振器や移相器を設けることで、小型でも効率のよいパルス管冷凍機を実現することができる。

### 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の第1の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる熱駆動圧力波発生装置の概念図、

第2図は、本発明の第2の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる熱駆動圧力波発生装置の概念図、

第3図は、本発明の第3の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる熱駆動圧力波発生装置の概念図、

第4図は、本発明の第4の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる熱駆動圧力波発生装置の概念図、

第5図は、本発明の第5の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる共振器の概念図、

5 第6図は、本発明の第6の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる移相器の概念図、

第7図は、本発明の第7の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる漏洩移相器の概念図、

第8図は、本発明の第3、4の実施の形態におけるパルス管冷凍機に用いる  
10 热駆動圧力波発生装置の動作実験結果を示す図、

第9図は、熱駆動圧力波発生装置におけるエネルギー流のパターンを示す図、

第10図は、従来のパルス管冷凍機におけるエネルギー流のパターンを示す  
図、

第11図は、従来のパルス管冷凍機に用いる熱駆動圧力波発生装置の概念図  
15 である。

### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について、第1図～第8図を参照しながら詳細に  
説明する。

20 (第1の実施の形態)

本発明の第1の実施の形態は、熱駆動管と移相器と帰還路とを備えた熱駆動  
圧力波発生装置により駆動するパルス管冷凍機である。

第1図は、本発明の第1の実施の形態におけるパルス管冷凍機の構成を示す  
概念図である。第1図において、パルス管冷凍機1は、オリフィス型パルス管  
25 冷凍機である。このパルス管冷凍機は、パルス管と、パルス管の低温側に接続  
された蓄冷器と、蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、パルス管の高  
温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備える。図示は省略してあるが、  
第10図に示したものと同じである。蓄熱器2は、一定の温度勾配をもつ等温  
空間を形成する手段である。再生器（regenerator）とも呼ばれるものである。加

熱用熱交換器 3 は、蓄熱器 2 の高温側に熱を供給する手段である。放熱用熱交換器 4 は、蓄熱器 2 の低温側を室温程度に冷却する手段である。仕事伝達管 5 は、断熱空間であり、動作ガスの圧力波により仕事を伝達する管である。帰還路 6 は、移相器 7 から蓄熱器 2 に仕事を戻す管である。移相器 7 は、シリンダ 5 内を自由に往復運動するピストンにより、動作ガスの圧力波の移相を遅らせる手段である。放熱用熱交換器 4a は、仕事伝達管 5 の仕事出力側を室温程度に冷却する手段である。放熱用熱交換器 4 と蓄熱器 2 と加熱用熱交換器 3 と仕事伝達管 5 と放熱用熱交換器 4 とで、熱駆動管を構成している。熱駆動管は、蓄熱器 2 の高温部を加熱し、低温部を冷却することにより、蓄熱器 2 に一定の温度勾配を形成して、動作ガスの圧力波による仕事を増幅する装置である。熱駆動管と帰還路 6 と移相器 7 とで、熱駆動圧力波発生装置を構成している。

上記のように構成された本発明の第 1 の実施の形態におけるパルス管冷凍機の動作を説明する。左右対称に設置された移相器 7 (ディスプレーサ) が対称に振動すると、動作ガスが振動する。その結果、温度  $T_h$  に加熱された加熱用熱交換器 3 から温度  $T_a$  に冷却された放熱用熱交換器 4 に、熱の流れが発生する。その結果、系内に圧力振動が発生する。この圧力振動と動作ガスの変位との間には特定の位相差があり、それが仕事の流れになる。この仕事の流れというエネルギーは、系に取り込まれた熱エネルギーの一部が仕事エネルギーに変換されたことによるものである。その証拠に、系から排出される熱エネルギーは、20 取り込まれた熱エネルギーより少ない。

仕事の流れは、温度  $T_a$  の放熱用熱交換器 4 から温度  $T_h$  の加熱用熱交換器 3 側に向かう。つまり、熱の流れとは反対方向に流れることが特徴である。その仕事の流れは、蓄熱器 2 を通過する過程で増幅される。その増幅された仕事流の一部は、移相器 7 (ディスプレーサ) を介して帰還路 6 から温度  $T_a$  の放熱用熱交換器 4 に供給される。残りの仕事は、パルス管冷凍機 1 の駆動源として供給される。最初に移相器 7 (ディスプレーサ) の振動を仮定したが、加熱温度  $T_h$  と放熱温度  $T_a$  との温度差が充分大きければ、移相器 7 (ディスプレーサ) を連続的に駆動させるのに必要な仕事を消費しても、パルス管冷凍機 1 に供給する仕事が残されるので、自励振動が得られ、駆動に必要な仕事を外部から供給す

る必要はない。

仕事伝達管 5 から出力された仕事の一部が、移相器 7 (ディスプレーサ) に戻されると、シリンダ内のピストンを振動させる。戻された仕事は、移相器 7 (ディスプレーサ) で、入力圧力波と位相の異なる圧力波に変換され、蓄熱器 5 2 の低温側に帰還される。帰還された仕事は、蓄熱器 2 で増幅され、仕事伝達管 5 に伝達された後、進行波として出力される。熱駆動管は、入力された仕事を増幅して出力する増幅器として機能する。出力された仕事の一部は、再度移相器 7 (ディスプレーサ) に戻されて、熱駆動管は継続的に圧力波を発生する。この熱駆動圧力波発生装置は、イナータンス型パルス管冷凍機に適用すること 10 もできるし、発電機などにも使用できる。

上記のように、本発明の第 1 の実施の形態では、パルス管冷凍機を、熱駆動管と移相器と帰還路とを備えた熱駆動圧力波発生装置により駆動する構成としたので、小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機が実現でき、簡単な構成で冷却効率を高めることができる。

15

#### (第 2 の実施の形態)

本発明の第 2 の実施の形態は、熱駆動管と、共振器と移相器と帰還路とを備えた熱駆動圧力波発生装置により駆動するパルス管冷凍機である。熱駆動圧力波発生装置は、スターリングエンジン型である。

20 第 2 図は、本発明の第 2 の実施の形態におけるパルス管冷凍機の構成を示す概念図である。第 2 図において、共振器 8 は、熱駆動管の仕事出力側に設けたガススプリング共振器である。その他の構成は、第 1 の実施の形態と同じである。このパルス管冷凍機の基本的な構成は、第 11 図に示した従来のパルス管冷凍機と同じである。移相器のピストンが自由に往復運動できる点が異なる。 25 热駆動管と帰還路 6 と移相器 7 と共振器 8 で、熱駆動圧力波発生装置を構成している。

上記のように構成された本発明の第 2 の実施の形態におけるパルス管冷凍機の動作を説明する。加熱用熱交換器 3 が十分に加熱されると、仕事伝達管 5 内に自励振動が生じ、この自励振動に対して共振器 8 が所定の位相差で共振する。

熱駆動管の出力側に設けた共振器 8 に、動作ガスの圧力波が共振して、定在波が発生する。共振器 8 での共振によって生じる圧力波は定在波であるために、仕事として何ら取り出せるものではない。共振器 8 との仕事のやり取りは、1 周期で差し引き 0 である。熱駆動管内を移動する動作ガスの振幅が大きくなり、

5 热駆動管で増幅された仕事が、パルス管冷凍機 1 に送り出される。蓄熱器 2 内で生成された仕事は、熱の流れと逆方向に流れる。移相器 7 の動作は、第 1 の実施の形態と同じである。

この熱駆動圧力波発生装置は、気体駆動自励スターリングエンジンである。スターリングサイクルエンジンのエネルギー流の様子は、第 9 図 (a) に示した通りである。熱  $Q_{in}$  は、蓄熱器 2 の高温側から供給され、熱  $Q_{out}$  として蓄熱器 2 の低温側から除去される。移相器 7 は、帰還路の音響慣性として用いられている。移相器 7 と共振器 8 は、機械的な振動を減らすために対称的に配置されている。浮かした状態でピストンを支持するために、撓み軸受が用いられている。ピストンの直径は、52mm である。可動質量は、1.85kg である。蓄熱器 15 2 の大きさは、直径 52mm である。長さ 57mm であり、200 メッシュのスクリーンで満たされている。ピストンとシリンダの隙間は、約  $15 \mu m$  である。加熱温度 580 K、平均圧力 1.5Mpa、駆動周波数 24.5Hz で、最小仕事増幅率は、1.57 である。駆動周波数は、ピストンの共振周波数 23.5Hz より高い。この熱駆動圧力波発生装置は、イナータンス型パルス管冷凍機に適用することもできるし、発 20 電機などにも使用できる。

上記のように、本発明の第 2 の実施の形態では、パルス管冷凍機を、熱駆動管と共振器と移相器と帰還路とを備えた熱駆動圧力波発生装置により駆動する構成としたので、小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機が実現でき、簡単な構成で冷却効率を高めることができる。

25

### (第 3 の実施の形態)

本発明の第 3 の実施の形態は、熱駆動管と共振器とを備えた熱駆動圧力波発生装置により駆動するパルス管冷凍機である。熱駆動圧力波発生装置は、定在波型である。

第3図は、本発明の第3の実施の形態におけるパルス管冷凍機の構成を示す概念図である。第3図において、蓄熱器2は、一定の温度勾配をもつ等温空間を形成する手段である。加熱用熱交換器3は、蓄熱器2の高温側に熱を供給する手段である。放熱用熱交換器4は、蓄熱器2の低温側を室温程度に冷却する手段である。高温バッファ16は、圧力波を反射させて、熱駆動管に定在波を発生させる管である。蓄熱器2と加熱用熱交換器3と放熱用熱交換器4と高温バッファ16とで、熱駆動管を構成している。共振器8は、熱駆動管とパルス管冷凍機1との接続部に設けたガススプリング共振器である。熱駆動管と共振器8とで、熱駆動圧力波発生装置を構成している。

10 上記のように構成された本発明の第3の実施の形態におけるパルス管冷凍機の動作を説明する。共振器8に動作ガスの圧力波が共振して、定在波が発生する。

高温バッファ16の閉じた端部が定在波のガス変位の節となる。共振器8の接続部が定在波の腹となる。熱駆動管内を移動する動作ガスの振幅が大きくなり、15 热駆動管で増幅された仕事が、パルス管冷凍機1に送り出される。共振器8との仕事のやり取りは、1周期で差し引き0である。この熱駆動圧力波発生装置は、定在波型の熱音響エンジンである。スタックと呼ばれる荒い網の蓄熱器2を用いる。この熱駆動管では、第1、2の実施の形態と異なり、仕事の流れの方向は、熱の流れの方向と同じである。第9図(d)に示したように、エネルギーが流れる。圧力波による仕事は、熱駆動管の低温側から入り、高温バッファ16で反射され、蓄熱器2で増幅されて、熱駆動管の低温側から出る。したがって、熱駆動管の低温側は、仕事の入出力端となっている。共振器8により、熱駆動管の長さが短くても、定在波の腹の振幅が大きくなるので、小型でも圧力波発生の効率がよくなる。この熱駆動圧力波発生装置は、イナータンス型パルス管冷凍機に適用することもできるし、発電機などにも使用できる。

上記のように、本発明の第3の実施の形態では、パルス管冷凍機を、熱駆動管と共振器とを備えた熱駆動圧力波発生装置により駆動する構成としたので、小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機が実現でき、簡単な構成で冷却効率を高めることができる。

## (第4の実施の形態)

本発明の第4の実施の形態は、熱駆動管の出力側と反対側に共振器を備えた熱駆動圧力波発生装置により駆動するパルス管冷凍機である。

5 第4図は、本発明の第4の実施の形態におけるパルス管冷凍機の構成を示す概念図である。第4図において、パルス管冷凍機1は、オリフィス型パルス管冷凍機である。蓄熱器2は、一定の温度勾配をもつ等温空間を形成する手段である。加熱用熱交換器3は、蓄熱器2の高温側に熱を供給する手段である。放熱用熱交換器4は、蓄熱器2の低温側を室温程度に冷却する手段である。仕事  
10 伝達管5は、断熱空間であり、動作ガスの圧力波により仕事を伝達する管である。放熱用熱交換器4aは、仕事伝達管5の仕事出力側を室温程度に冷却する手段である。放熱用熱交換器4と蓄熱器2と加熱用熱交換器3と仕事伝達管5と放熱用熱交換器4とで、熱駆動管を構成している。熱駆動管は、蓄熱器2の高温部を加熱し、低温部を冷却することにより、蓄熱器2に一定の温度勾配を  
15 形成して、動作ガスの圧力波による仕事を增幅する装置である。共振器8は、熱駆動管とパルス管冷凍機1との接続部の反対側に設けたガススプリング共振器である。熱駆動管と共振器8とで、熱駆動圧力波発生装置を構成している。

上記のように構成された本発明の第4の実施の形態におけるパルス管冷凍機の動作を説明する。温度Taの放熱用熱交換器4側に、左右対向型の一対の共振器8(ディスプレーサ)を取り付ける。温度Thの加熱用熱交換器3からの熱流の一部が仕事流に変換される。さらにその一部は、温度Taの放熱用熱交換器4側から取り出され、共振器8(ディスプレーサ)を駆動するのに用いられる。残りの仕事は、温度Thの加熱用熱交換器3側から取り出され、仕事伝達管5を介して、パルス管冷凍機1に供給される。ループが形成されていないので、循  
20 環流の発生による不安定性の心配がない。  
25

共振器8により動作ガスの圧力波が共振して、共振器8に定在波が発生する。熱駆動管内を移動する動作ガスの振幅が大きくなり、熱駆動管で増幅された仕事が、パルス管冷凍機1に送り出される。共振器8との仕事のやり取りは、1周期で0である。

熱駆動圧力波発生装置の実験では、動作ガスをヘリウムガスとして、共振周波数 31.5Hz で発振した。パルス管冷凍機を駆動するのに適当な平均圧力 2.3Mpa で、1.1 以上の圧力比が得られた。加熱温度  $Th$  は 723 K であり、冷却温度  $Ta$  は 290 K である。ひとたび圧力振動が開始されると、加熱温度が 450 K 以下になるまで振動が継続した。実験結果を、第 8 図に示す。この熱駆動圧力波発生装置は、イナータンス型パルス管冷凍機に適用することもできるし、発電機などにも使用できる。

上記のように、本発明の第 4 の実施の形態では、パルス管冷凍機を、熱駆動管の出力側と反対側に共振器を備えた熱駆動圧力波発生装置により駆動する構成としたので、小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機が実現でき、簡単な構成で冷却効率を高めることができる。

#### (第 5 の実施の形態)

本発明の第 5 の実施の形態は、パルス管とオリフィスとの間にガススプリング共振器を備えたパルス管冷凍機である。

第 5 図は、本発明の第 5 の実施の形態におけるパルス管冷凍機の構成を示す概念図である。第 5 図において、共振器 8 a は、閉じたガスをスプリングとしてピストンが往復運動する共振器である。リザーバ 13 は、動作ガスを溜めるバッファタンクである。オリフィス 14 は、動作ガスに抵抗をかけて通過させる通路である。その他の構成は、第 4 の実施の形態と同じである。

上記のように構成された本発明の第 5 の実施の形態におけるパルス管冷凍機の動作を説明する。一般に、効率の良いパルス管冷凍機の位相制御機構として、イナータンスチューブと呼ばれる長い管とリザーバ容器とを直列に接続した「イナータンス位相制御機構」が用いられている。しかし、この機構は、小型のパルス管冷凍機には効率よく適用できない。その理由は、長い管の直径を小さくする必要があり、その結果、その管内部で振動する気体の圧力損失が増大し、同時にそこに存在するガスの質量が減少することによって、理想的な共鳴条件が成立しなくなるからである。

一方、固体のピストンとオリフィスとを併用した制御系を利用すれば、いく

ら小型化しても、充分に理想的な共鳴条件が成立する。理想的な共鳴条件とは、パルス管温端部でのガスの変位と圧力振動との位相差が 90 度を超える状態を実現していることを言う。最近のマイクロメカニクスの技術進歩をもってすれば、超小型ピストンの製造は困難ではなくなってきていることも、この技術を実現 5 に近づけている要因の一つである。この方式の位相制御機構は、パルス管冷凍機を小型化しようとするために重要なものである。

パルス管 15 とオリフィス 14 との間に設けた共振器 8 a により、短いパルス管でも共振させることができる。共振器 8 a が振動の腹になるので、大きな振幅でオリフィス 14 との間で動作ガスを取りできる。小型で効率的な位相制御機構ができる。圧力振動発生装置は、どの型のものでもよい。

上記のように、本発明の第 5 の実施の形態では、パルス管冷凍機を、パルス管とオリフィスとの間にガススプリング共振器を備えた構成としたので、長い共鳴管を用いることなく、小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機が実現でき、簡単な構成で冷却効率を高めることができる。

15

#### (第 6 の実施の形態)

本発明の第 6 の実施の形態は、パルス管とオリフィスとの間に移相器を備えたパルス管冷凍機である。

第 6 図は、本発明の第 6 の実施の形態におけるパルス管冷凍機の構成を示す 20 概念図である。第 6 図において、移相器 7 は、動作ガスの移動位相を遅延させる手段である。その他の構成は、第 4 の実施の形態と同じである。

上記のように構成された本発明の第 6 の実施の形態におけるパルス管冷凍機の動作を説明する。パルス管 15 とオリフィス 14 との間に設けた移相器 7 により、動作ガスの移動位相を遅延させて、冷却効率を高めることができる。オリ 25 フィス 14 のみの場合と比較して、移相器 7 で圧力波に対するガス変位の移相量を大きくすることができ、冷却効率が高まる。オリフィス 14 がない場合の位相を 0 度とすると、オリフィス 14 を設けると位相差は 90 度となる。さらに移相器 7 を設けると、位相差は 110 度程度になる。また、移相器 7 の特性を目的に合わせて設計することができるので、最適な動作特性を実現することができる。

なお、パルス管冷凍機を駆動する圧力振動発生装置は、どの型のものでも利用できる。

上記のように、本発明の第6の実施の形態では、パルス管冷凍機を、パルス管とオリフィスとの間に移相器を備えた構成としたので、小型で振動と電気ノイズのないパルス管冷凍機が実現でき、簡単な構成で冷却効率を高めることができる。  
5

#### (第7の実施の形態)

本発明の第7の実施の形態は、パルス管とリザーバとの間に漏洩移相器を備  
10 えたパルス管冷凍機である。

第7図は、本発明の第7の実施の形態におけるパルス管冷凍機の構成を示す概念図である。第7図において、漏洩移相器12は、シリンダとピストンの間に、動作ガスが通る隙間があるディスプレーサである。オリフィスはない。

上記のように構成された本発明の第7の実施の形態におけるパルス管冷凍機  
15 の動作を説明する。パルス管15とリザーバ13との間に設けた漏洩移相器12は、ディスプレーサとオリフィスの機能を兼ね備えたものである。機能的には、第6の実施の形態とほぼ同じである。第6の実施の形態では、移相器とオリフィスが直列に接続されていたのに対して、この例では、移相器とオリフィスが機能的に並列に接続されることになる。漏洩移相器12のシリンダとピストン  
20 の間の隙間を、オリフィスとして利用することにより、オリフィスを別途設ける必要を無くして、装置を小型化することができる。圧力振動発生装置は、どの型のものでもよい。

上記のように、本発明の第7の実施の形態では、パルス管冷凍機を、パルス管とリザーバとの間に漏洩移相器を備えた構成としたので、簡単な構成で仕事  
25 吸収手段を実現できる。

#### 産業上の利用可能性

以上の説明から明らかなように、本発明では、パルス管と、パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、パル

ス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えたパルス管冷凍機の振動発生装置を、蓄熱器と加熱用熱交換器と放熱用熱交換器と仕事伝達管とかなる熱駆動管と、熱駆動管の出力端に一端が接続された移相器と、移相器の他端と熱駆動管の入力端を結ぶ帰還路とを備えた熱駆動圧力波発生装置とする  
5 構成としたので、小型で振動とノイズのないパルス管冷凍機を実現できる。

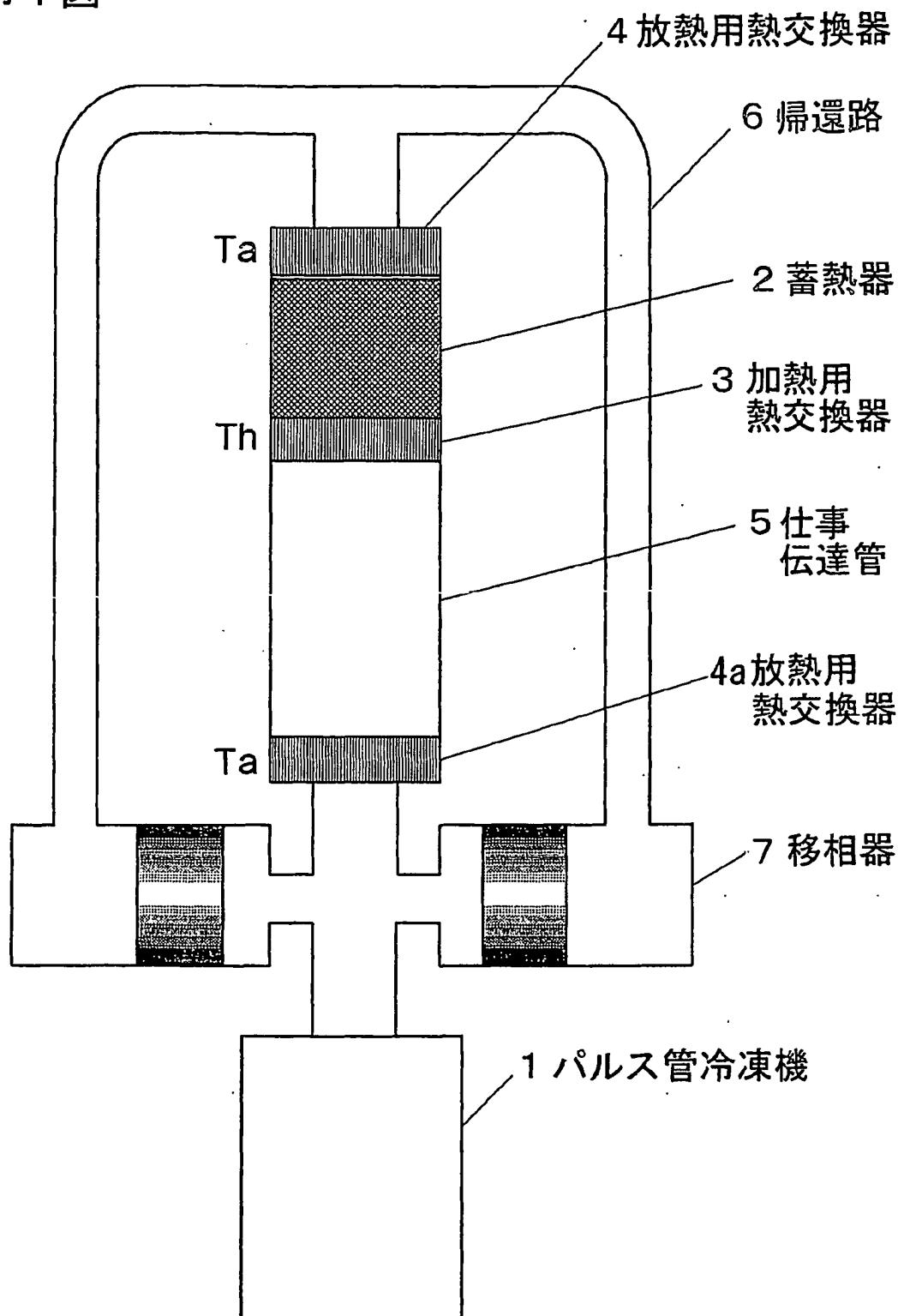
## 請 求 の 範 囲

1. パルス管と、前記パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、前記蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、前記パルス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えたパルス管冷凍機であって、前記振動発生装置は、蓄熱器と加熱用熱交換器と放熱用熱交換器と仕事伝達管とからなる熱駆動管と、前記熱駆動管の出力端に一端が接続された移相器と、前記移相器の他端と前記熱駆動管の入力端を結ぶ帰還路とを備えた熱駆動圧力波発生装置であることを特徴とするパルス管冷凍機。
- 10 2. パルス管と、前記パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、前記蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、前記パルス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えたパルス管冷凍機であって、前記振動発生装置は、蓄熱器と加熱用熱交換器と放熱用熱交換器と高温バッファとからなる熱駆動管と、前記熱駆動管の低温部端に接続された共振器とを備えた熱駆動圧力波発生装置であることを特徴とするパルス管冷凍機。
- 15 3. パルス管と、前記パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、前記蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、前記パルス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えたパルス管冷凍機であって、前記振動発生装置は、蓄熱器と加熱用熱交換器と放熱用熱交換器と仕事伝達管とからなる熱駆動管と、前記熱駆動管の入力端に接続された共振器とを備えた熱駆動圧力波発生装置であることを特徴とするパルス管冷凍機。
- 20 4. パルス管と、前記パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、前記蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、前記パルス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えたパルス管冷凍機であって、前記パルス管と前記オリフィスとの間にガススプリング共振器を備えたことを特徴とするパルス管冷凍機。
- 25 5. パルス管と、前記パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、前記蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、前記パルス管の高温側に接続されたオリフィス付リザーバとを備えたパルス管冷凍機であって、前記パルス管と前記オリ

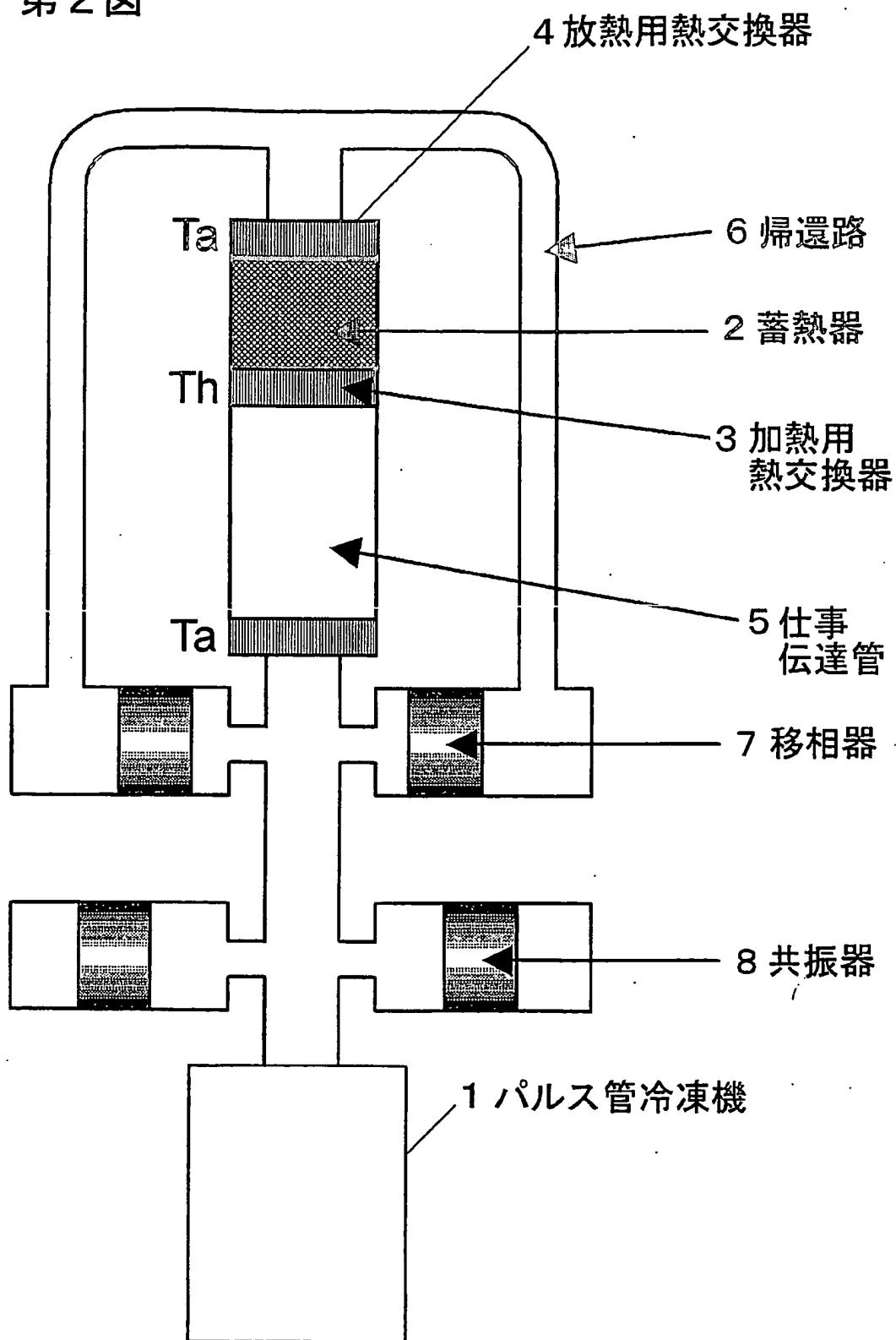
リフィスとの間に移相器を備えたことを特徴とするパルス管冷凍機。

6. パルス管と、前記パルス管の低温側に接続された蓄冷器と、前記蓄冷器の高温側に接続された振動発生装置と、前記パルス管の高温側に接続されたリザーバとを備えたパルス管冷凍機であって、前記パルス管と前記リザーバとの間に漏洩移相器を備えたことを特徴とするパルス管冷凍機。

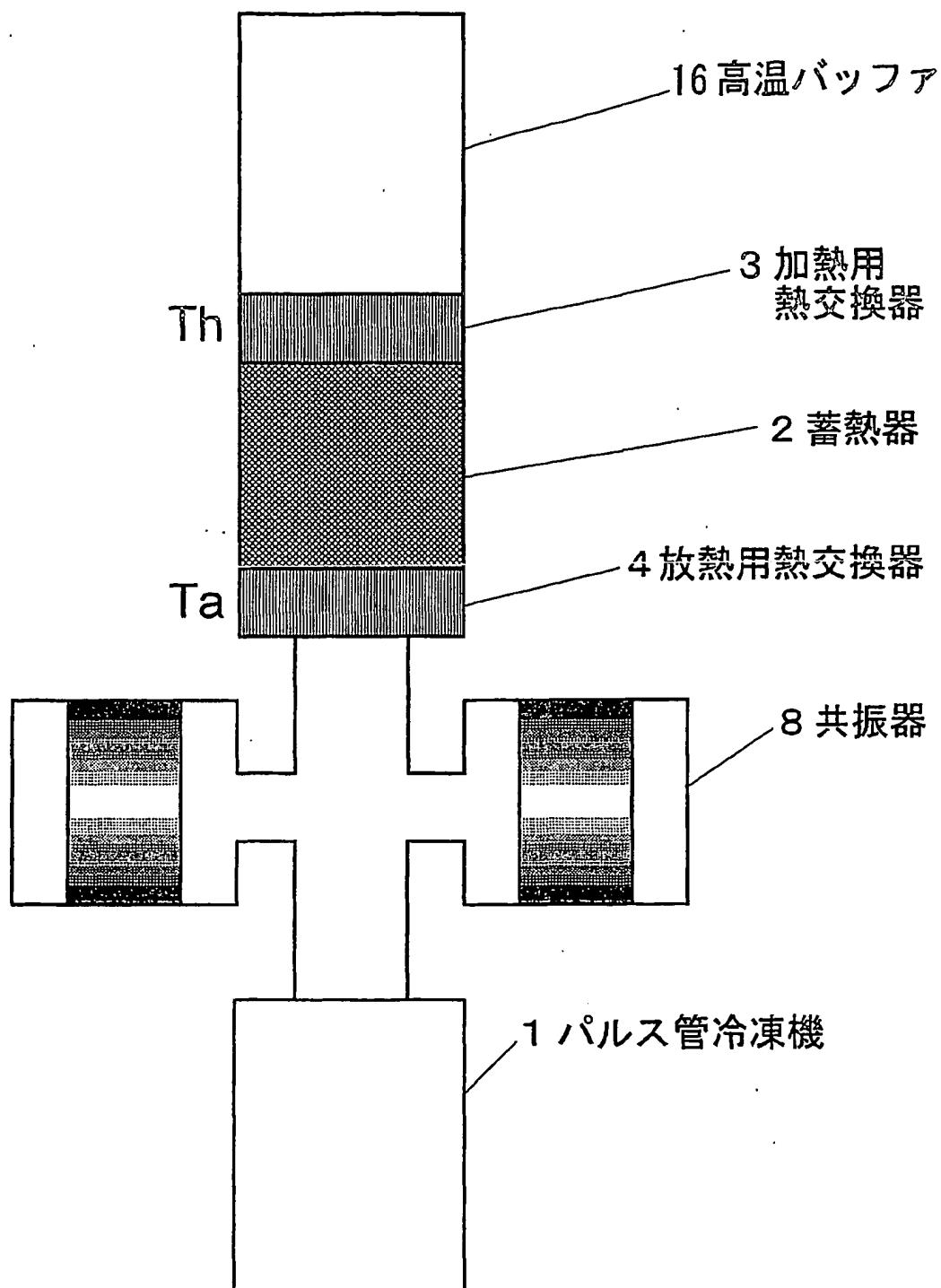
第1図



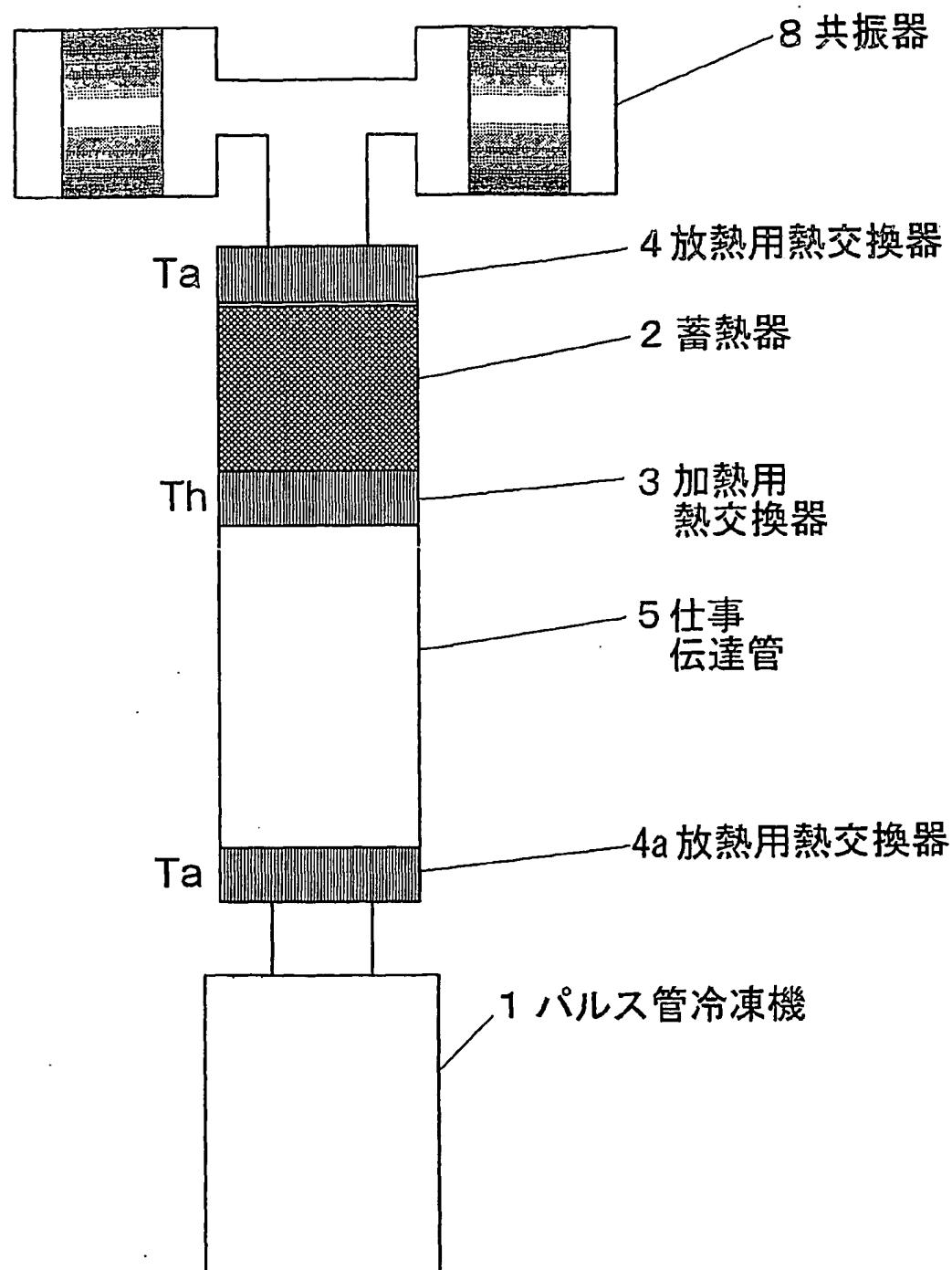
第2図



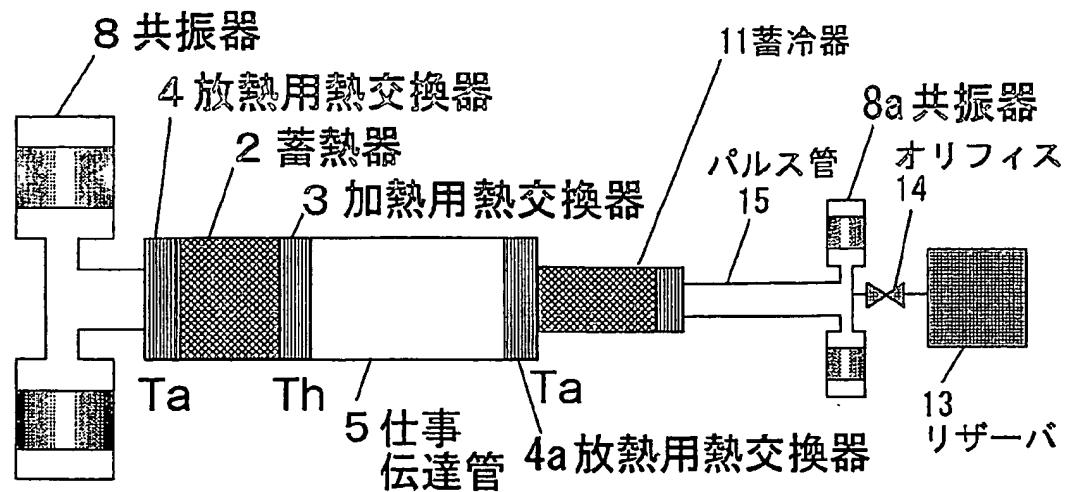
第3図



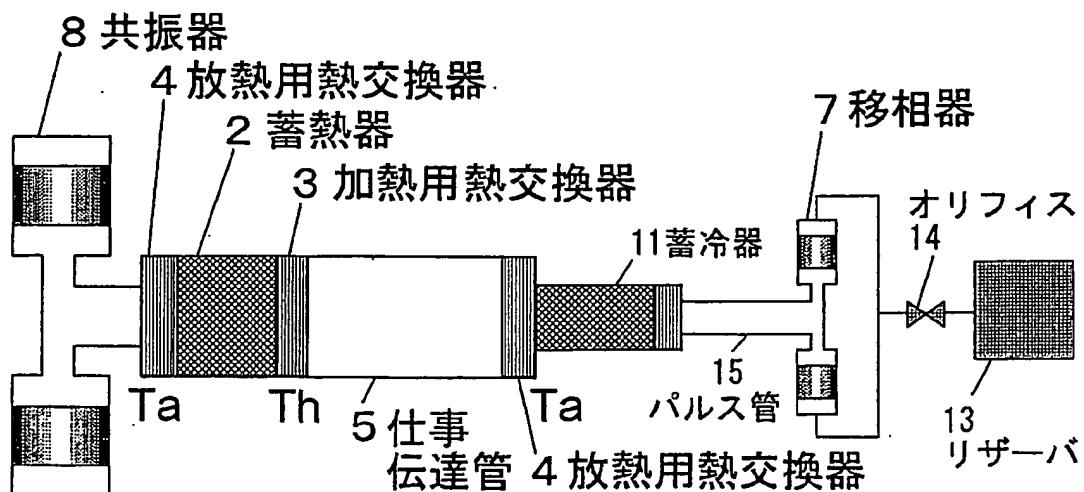
第4図



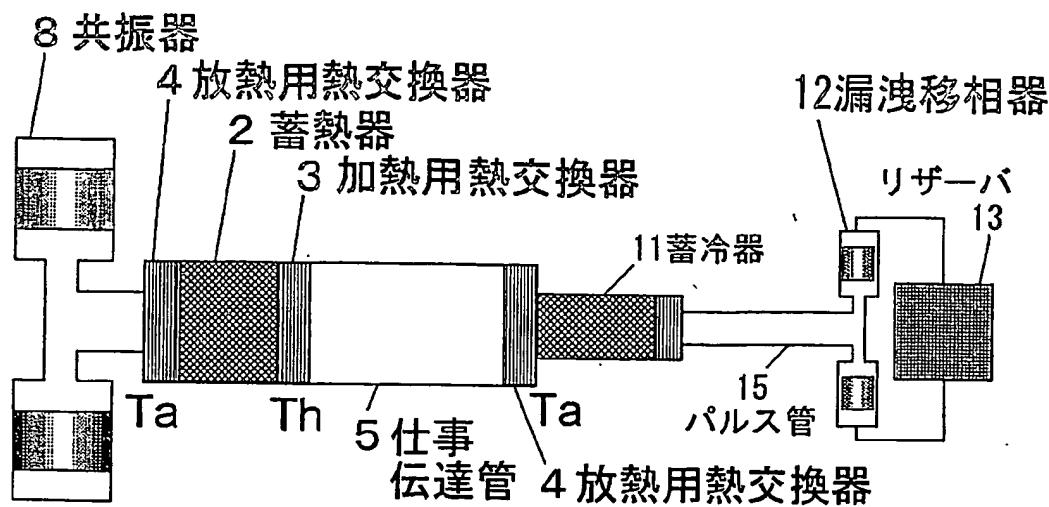
第5図



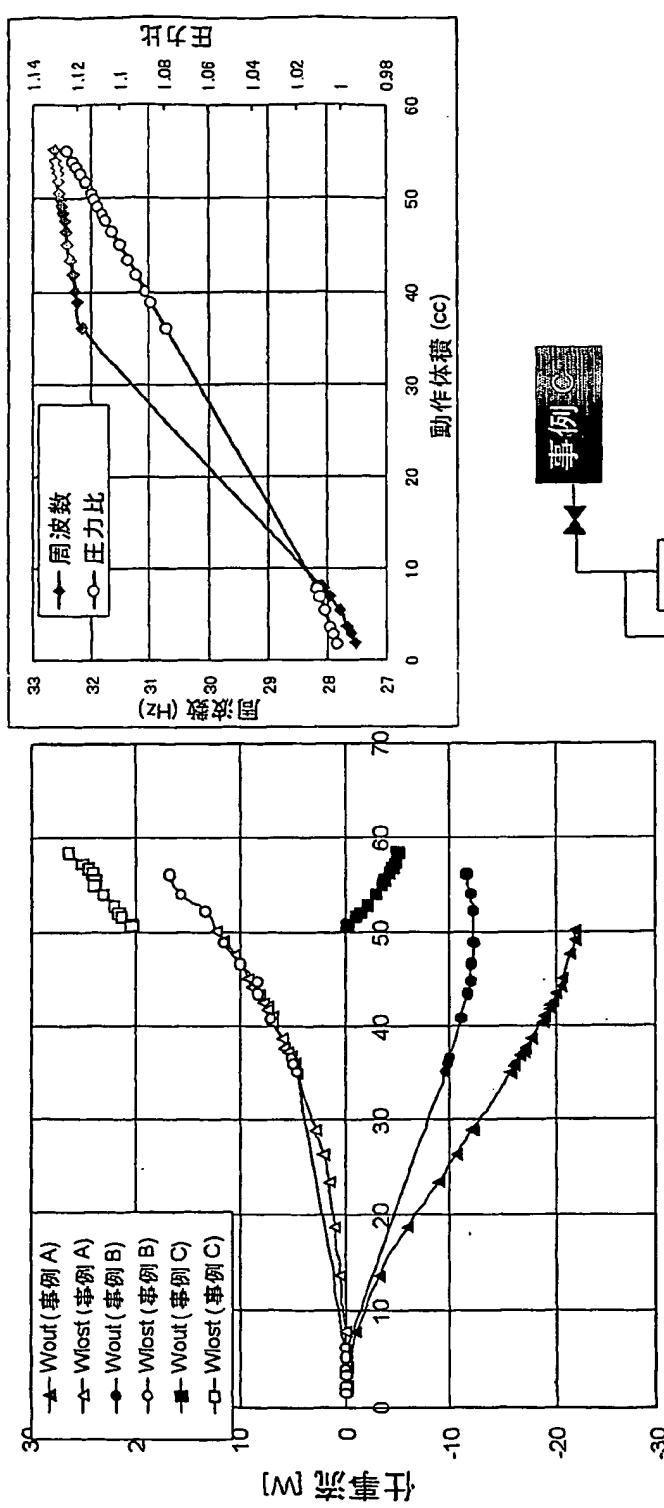
第6図



## 第7図

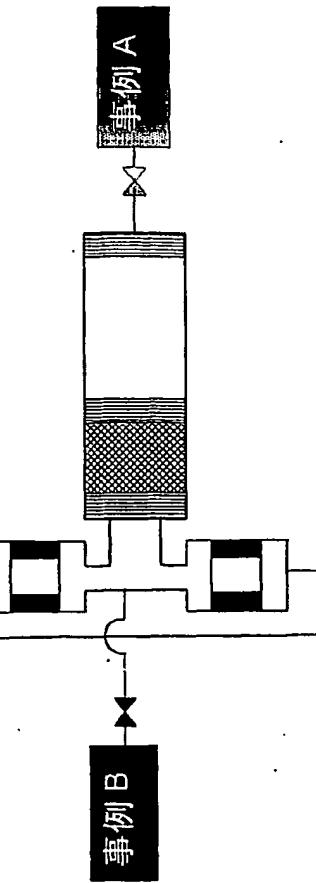


## 実験データ



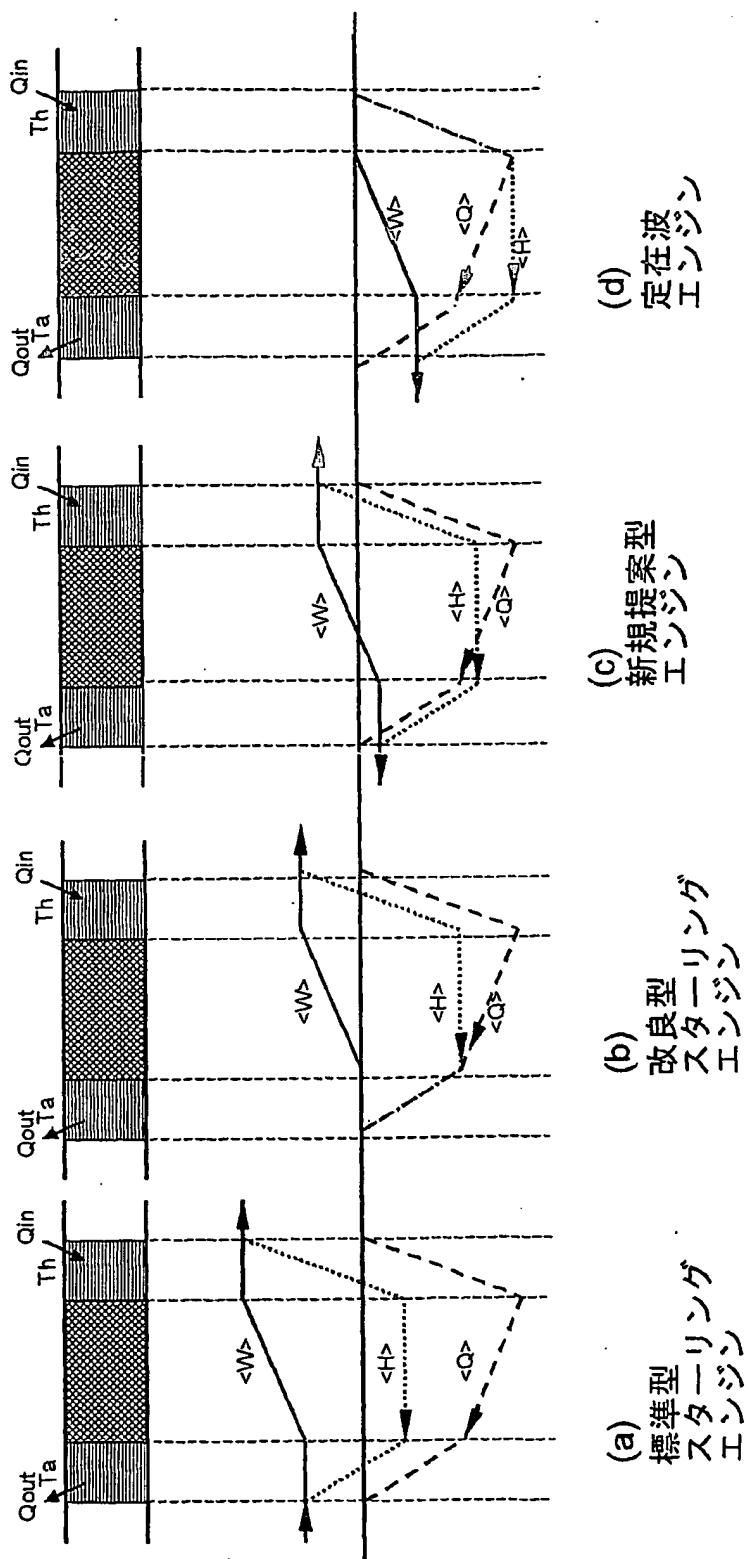
ディスプレーサの動作体積 [cc]

平均圧力 = 2.0 MPa (He)  
 加熱温度 ~ 720 K  
 リザーバ体積 = 250 cm<sup>3</sup>  
 出力仕事は等温空間の熱吸収から計算



## 図 9

境界条件を変えた場合のエネルギー流パターントの差



## 第10図

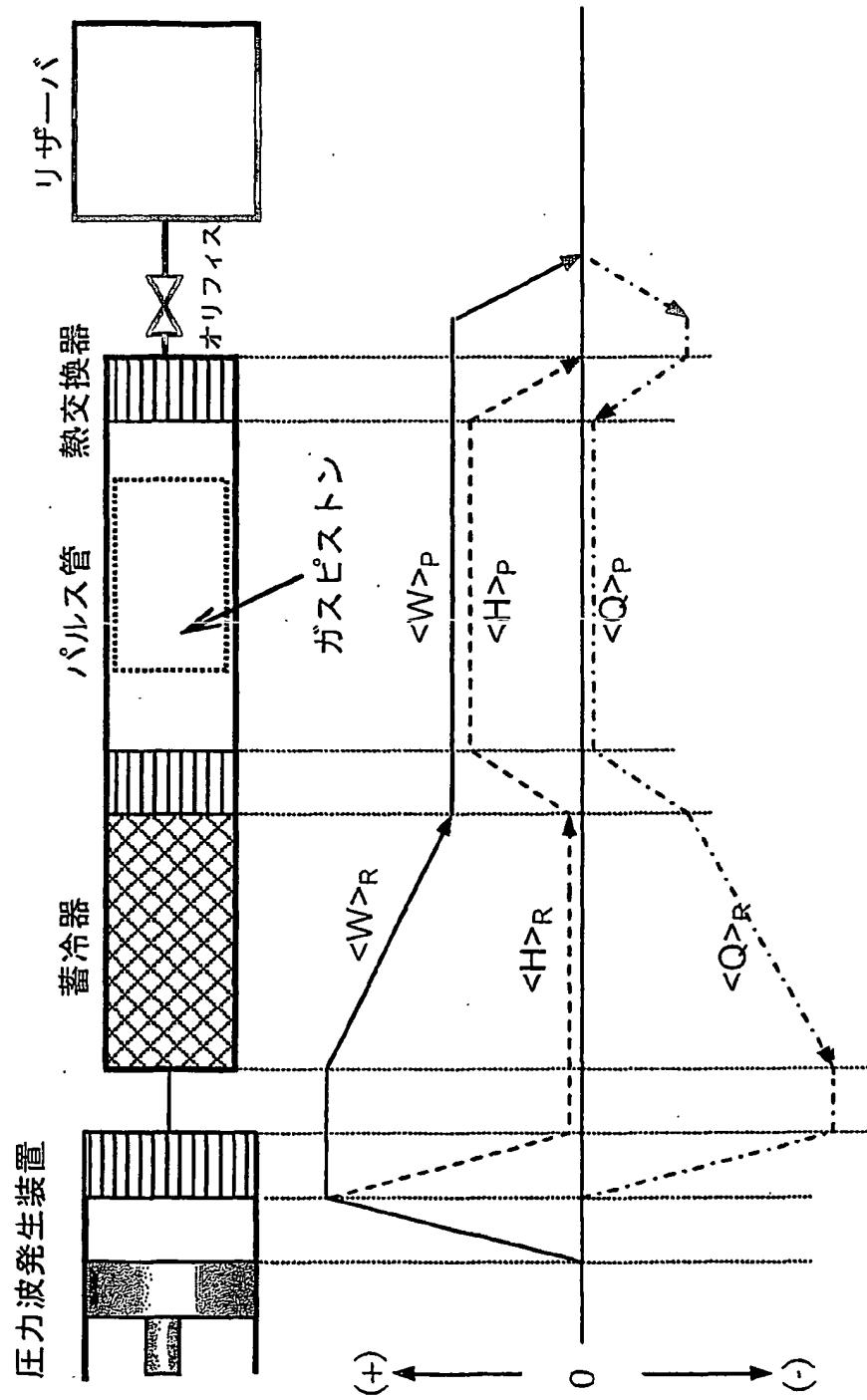
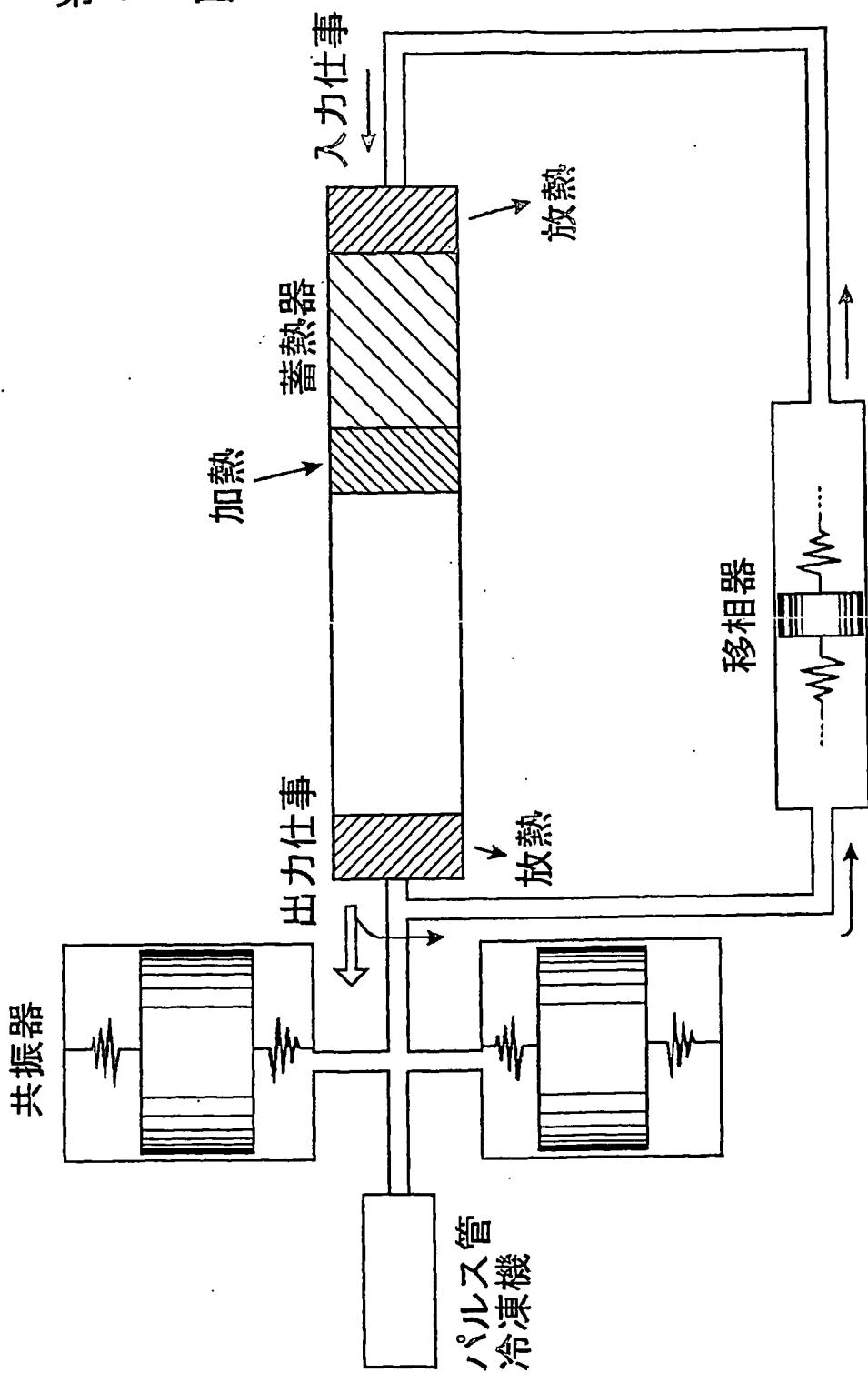


図 1-1



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004253

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> F25B9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> F25B9/00, F01B11/08, F02G1/04, F01B29/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2002-535597 A (The Regents of the University of California), 22 October, 2002 (22.10.02), Page 9, line 16 to page 44, line 7 & US 6032464 A & EP 1153202 A	1 2-6
A	JP 11-182958 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 06 July, 1999 (06.07.99), (Family: none)	1-6
A	JP 2002-122020 A (Honda Motor Co., Ltd.), 26 April, 2002 (26.04.02), & EP 1201906 A3 & US 2002/0043065 A1	1-6

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
08 June, 2004 (08.06.04)Date of mailing of the international search report  
29 June, 2004 (29.06.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/004253

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 06-101916 A (Toshiba Corp.), 12 April, 1994 (12.04.94), & US 5335505 A	1-6

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2004/004253

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17  
F25B9/00

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17  
F25B9/00 F01B11/08 F02G1/04 F01B29/10

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2002-535597 A (ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ カリフォルニア) 2002. 10. 2	1
A	2, 第9頁第16行目～第44頁第7行目 & US 60324 64 A & EP 1153202 A	2-6
A	JP 11-182958 A (三菱重工業株式会社) 1999. 07. 06 (ファミリーなし)	1-6

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

## 国際調査を完了した日

08. 06. 2004

国際調査報告の発送日 29. 6. 2004

## 国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

清水 富夫

3M 7616

電話番号 03-3581-1101 内線 3376